ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2017, № 2

УДК 004.9

О.М. Березький, О.Й. Піцун, П.Б. Лящинський, П.Б. Лящинський, Г.М. Мельник
Тернопільський національний економічний університет, Україна
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46004

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ МІКРОСКОПІЇ АНАЛІЗУ ГІСТОЛОГІЧНИХ ТА ЦИТОЛОГІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

O.M. Berezsky, O.Y. Pitsun, P.B. Lyashchynsky, P.B. Lyashchynsky, G.M. Melnyk
Ternopil national economic university, Ukraine
11, Lvivska str., Ternopil, 46004

INTELLIGENT AUTOMATED MICROSCOPY SYSTEM OF HISTOLOGICAL AND CITIOLOGICAL IMAGES ANALYSIS

У статті проведено порівняльний аналіз систем автоматизованої мікроскопії на низькому, середньому та високому рівнях комп’ютерного зору. Спроектовано та програмно реалізовано інтелектуальну систему діагностування. Перевагою системи, порівняно з аналогами, є наявність чотирьох рівнів доступу, адаптивного графічного інтерфейсу для різних типів користувачів, методів автоматичного покращення якості зображення та їх сегментації, модуля для зручної комунікації між користувачами, модуля обліку пацієнтів. Розроблена система забезпечує можливість обробки кількісних та якісних характеристик зображень.

Ключові слова: система автоматизованої мікроскопії, комп’ютерний зір, адаптивний інтерфейс.

Comparative analysis of automated microscopy systems at low, medium and high levels of computer vision is conducted. An intelligent diagnostic system is implemented and programmed. The advantage of the system in comparison with the analogues is the availability of four levels of access, an adaptive graphical interface for different types of users, methods for automatic image quality improvement and segmentation, a module for user-friendly communication, a patients accounting module. The developed system provides the opportunity to process quantitative and qualitative characteristics of images.

Key words: automated microscopy system, computer vision, adaptive interface.

Вступ

Останнім часом все більшої популярності набуває впровадження інформаційних технологій у медицину. Це дозволяє значно спростити та налагодити процес взаємодії між лікарями та пацієнтами. Ключовим моментом у діагностуванні передракових станів є процес опрацювання та аналізу зображень. Методи та алгоритми для аналізу зображень надають спеціалізовані програмні системи. Система автоматизованої мікроскопії (САМ) – це програмно-апаратна система, що дозволяє автоматизувати аналіз біомедичних зображень в умовах клінічної практики. Більшість САМ складаються з апаратної (мікроскоп, відеокамера) та програмної частин. Основне завдання програмної частини полягає в обробці вхідного зображення, ідентифікації мікрооб’єктів і визначенні ознак для подальшої постановки діагнозу лікарем-фахівцем або в автоматичному режимі [1]. Більшість існуючих САМ володіють лише стандартним набором алгоритмів та методів комп’ютерного зору і не мають інтерфейсів для різних груп користувачів. [2].

Тому існує проблема розробки систем автоматизованої мікроскопії з елементами штучного інтелекту, які спрощували б взаємодію різних користувачів із системою та давали консультації при встановленні діагнозу.

© О.М. Березький, О.Й. Піцун, П.Б. Лящинський, П.Б. Лящинський, Г.М. Мельник

Аналіз публікацій

S. Kankaanpää та P. Paavolainen у статті [3] описують системи автоматизованої мікроскопії BioImageXD. Інструменти аналізу охоплюють як об'єктно-орієнтовані, так і воксельно-обґрунтовані підходи. Програмне забезпечення може бути використане як для простої візуалізації багатоканальних тимчасових стеків, так і для складної 3D обробки.

Малов А.М. [4] наводить методику комп'ютерної обробки багатоспектральних зображень препаратів, які використовуються в медико-біологічних дослідженнях. Методика дозволяє в інтерактивному режимі підготувати до проведення автоматичного вимірювання морфометричних параметрів мікрооб'єктів у складних випадках за наявності на зображенні декількох груп різних мікрооб'єктів. Методика відрізняється цілеспрямованістю візуалізації, що дозволяє швидко виділити мікрооб'єкти інтересу. Методика впроваджена в програмне забезпечення апаратно-програмного комплексу «ДіаМорф», який застосовують у медицині та біології. Yokoyama Yuhki [5] наводить результати досліджень раку молочної залози з використанням апаратно-програмного забезпечення MetaMorph 7.1.

Brigitte Séroussi [6] аналізує систему OncoDoc для підвищення якості досліджень щодо діагностування раку молочної залози. OncoDoc – система підтримки прийняття рішень, яка призначена для забезпечення терапевтичних рекомендацій для хворих на рак молочної залози. Розроблено інструмент перегляду бази знань, який виконаний у вигляді дерева рішень. Система OncoDoc містить базу даних (БД), що значно вирізняє її серед інших систем.

Dercksen V. [7] розглядає та аналізує інтерактивне програмне середовище для візуалізації, коректування та аналізу 3D-морфології.

Vrekoussis T. [8] проводить аналіз досліджень у сфері імуногістохімії раку молочної залози з використанням програмного забезпечення ImageJ на основі RGB-моделі гістологічних зображень.

Медовий В.С. у статті «Информационные автоматизированные системы микроскопии для анализа биоматериалов» наводить структуру, переваги та недоліки інформаційної автоматизованої системи МЕКОС-ЦГ. Дана система має БД, що надалі дозволить об’єднувати зусилля лабораторій для якісної діагностики.

Комплекс Имаджер-ЦГ складається з стандартної техніки: мікроскопа, відеокамери, комп'ютера з платою відеозахоплення та прикладного програмного забезпечення. Призначенням комплексу є візуалізація даних та розпізнавання образів, оперативне отримання кількісної інформації про властивості мікрооб'єктів, оцінку їх характеристик з метою підвищення якості діагностики в різних сферах медицини.

Аналіз існуючих САМ

На даний момент все більшої популярності набувають САМ для обробки різного типу біомедичних зображень, зокрема цитологічних та гістологічних зображень.

До найпопулярніших САМ можна віднести такі: МЕКОС-Ц2, TissueFAXS, AnalySIS Five, BioVision, ВидеоТесТ Морфо 5.2, BioImageXD, Ariol, ImageJ, analySIS FIVE, Motic Images Advanced 3.2, ДиаМорф, Motic ВидеоТесТ Морфо 5.2, Cell D. Основні критерії оцінювання САМ такі: режими роботи алгоритмів сегментації зображень, обчислення числових характеристик мікрооб’єктів, можливість роботи із

зовнішніми програмами. Ще одним важливим критерієм є можливість виводу інформації, наприклад, звіту, у вигляді графіків та гістограм.

Усі з розглянутих САМ наділені функцією попередньої обробки зображення та визначення характерних ознак. Одним із недоліків ImageTool, ИМАДЖЕР-ЦГ та ScreenMeter є відсутність можливості використання плагінів, що значно обмежує можливості САМ. Важливим елементом усіх систем автоматизованої мікроскопії є можливість формування звітів після дослідження та їх подальший вивід на екран або друк.

Такі системи як BioVision, TissueFAXS, МЕКОС-Ц2, Ariol є комбінованими і надають комплекси для роботи у різних напрямах. Наприклад, комплекс для дослідження тканин, комплекс автоматичного аналізу мазків крові, комплекс для роботи з флуоресценцією, імуногістохімічними зразками та ін. Ще однією перевагою таких систем над їхніми аналогами є наявність великої кількості фільтрів і методик для обробки зображень, що дозволяє більш точно обчислити характеристичні ознаки.

Програмні системи BioVision, ВидеоТесТ, МЕКОС-Ц2, TissueFAXS PLUS, Ariol мають БД для зберігання зображень і результатів дослідження. До того ж, МЕКОС-Ц2 надає механізм роботи з віддаленою БД. Використання БД у подібних системах значно спрощує роботу медичних працівників і дозволяє формувати звіти та висновки у процесі роботи. Перевагою BioVision, Cell D є використання фазового аналізу (сегментація мікрооб'єктів на основі гістограм).

Image-Pro Plus надає більше п'ятдесяти інструментів вимірювання мікрооб’єктів. За допомогою Image-Pro Plus і додатковим 3D доповненням можна досліджувати глибину зображень, візуалізацію та взаємодію у трьох вимірах.

Відмінністю МЕКОС-Ц2 є можливість сортування та візуалізації мікрооб'єктів аналізу, автоматичне формування компактної представницької цифрової моделі препарату для візуального контролю, засоби колективного локального та дистанційного обслуговування потоків біоматеріалів і теломорфологія.

Перевагами TissueFAXS є автоматичне багатоканальне захоплення зображення, виділення окремих клітин за запатентованими алгоритмами, автоматичне виділення і розділення ядер, робота із замороженими і парафіновими зрізами, підвищена швидкість аналізу за рахунок використання багатоядерних комп'ютерних робочих станцій, створення шаблонів і профілів для повторного використання перевірених параметрів. Використання технології розподілених обчислень дозволяє значно пришвидшити процес опрацювання зображення або групи зображень, збільшуючи таким чином продуктивність.

САМ Ariol спеціалізується на виявленні та діагностиці раку молочної залози. Її особливістю у порівнянні з іншими системами є можливість підключення до основного обладнання до дев’яти робочих станцій. У підсумку кожна лабораторія або дослідницька група отримують доступ до централізовано відсканованих препаратів, проводять спеціалізований аналіз і зберігають результати в загальній інформаційній базі. Спеціалізовані програмні модулі автоматизованої платформи Ariol призначені для кількісного імуногістохімічного дослідження, FISH аналізу, морфометричного аналізу гістологічних препаратів у світлому полі і дослідження за методом імунофлуоресценції, автоматизованого пошуку окремих ракових клітин і мікрометастазів.

Більшість САМ реалізовують у своєму складі відомі алгоритми обробки зображень (наприклад, cross-correlation algorithm, nearest neighbor algorithm, алгоритм локалізації границь на основі вейвлет-перетворення, optical sectioning conventianal fluorescence, stitching algorithm, confidence mapping, watersheds

algorithm), однак деякі з них, наприклад, TissueFAXS чи МЕКОС-Ц2, працюють з оригінальними запатентованими алгоритмами.

Однією з переваг Ariol та BioVision є можливість використання Grid технології для швидшої обробки інформації. Система Ariol дозволяє ефективно розподіляти спеціалізовані дослідження і отримувати комплексні результати аналізів за рахунок підключення до основного обладнання до робочих станцій.

Такі САМ як Ariol, МЕКОС-Ц2, BioVision, TissueFAXS, Image-Pro Plus надають спеціалізоване апаратне забезпечення (мікроскоп, камера, адаптер для камери). Так, Ariol – автоматизована платформа на базі моторизованого дослідного мікроскопа Leica DM6000, а TissueFAXS – на базі спеціалізованих мікроскопів фірми Nikon. Інші ж дозволяють використовувати універсальні апаратні засоби, які впливають на ціну.

Недоліками таких систем як Image-Pro Plus, Cell D, QCapture PRO 6.0, порівняно з іншими, є відсутність можливості передачі даних у зовнішнє програмне середовище.

Порівняльну характеристику систем автоматизованої мікроскопії наведено у таблиці 1 (+ наявність, - відсутність, +/- наявність додаткового модуля).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика САМ на низькому рівні обробки зображень

Критерії	Imagej	Axio Visison	BioImage XD	motic	QCapture PRO	Icy	Image Pro Plus	Micro Manager	analySIS FIVE
Контрасту-вання	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Зміна рівня яскравості	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Алгоритми виділення порогів: Лапласа, Собеля	 - +	 + +	 - +	 + -	 + +	 - +	 + +	 + +/-	 + +
Фільтри: Гаусовий Медіанний Усереднюючий	 + + +	 + + +	 + + -	 + + -	 + + -	 + - -	 + + -	 + +/- +/-	 +/- +/- +/-
Швидке перетворення Фур'є	+	+	+	+	+	-	+	+	+

Порівняльну характеристику алгоритмів середнього рівня обробки зображень наведено у таблиці 2.

У результаті порівняння можна зробити висновок, що більшість систем мають у своєму складі подібний набір реалізованих алгоритмів сегментації. Серед наведених САМ потрібно виділити BioImageXD та AxioVisison, які мають у своєму складі найбільший набір реалізованих алгоритмів сегментації. Програмна система

ImageJ у своєму складі має лише декілька алгоритмів, однак надає можливість інсталяції додаткових модулів.

Ключовим етапом САМ є етап виділення та розпізнання мікрооб'єктів на зображенні, наприклад, ядра, цитоплазми. Порівняльну характеристику систем автоматизованої мікроскопії на високому рівні опрацювання зображень наведено у таблиці 3.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика алгоритмів середнього рівня обробки зображень

САМ	Метод K – means	Розумні ножиці	Snakes	Метод водо-розподілу	Алгоритм Крускала	Grab Cut	Mean shift	Кодування контурів	RAN SAC	Перетворення Хафа
ImageJ	+	+/-	+	+	+/-	+/-	+	-	+	+/-
Axio Vision	+	-	+	+	+	+	-	+/-	-	+
BioImage	+	+	+	+	+	-	-	+/-	+	+/-
Motic	+	-	+	-	+	-	-	-	+	-
QCapture	+	+	-	+	-	-	-	+/-	+	+
Image Pro	+	-	+	-	+	+	-	-	-	+
Icy	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-
Micro Manager	+	+/-	+	+/-	-	+/-	-	-	+	+

Таблиця 3. Порівняльна характеристика САМ на високому рівні опрацювання зображень

Критерії	ImageJ	Axio Vision	BioImage XD	motic	QCapture PRO	Icy	Image Pro Plus	Micro Manager	analySIS FIVE
Автоматична адаптація до зображення	-	-	+	-	-	-	+	-	-
Детектування об'єктів	+/-	+/-	-	-	-	-	+/-	+/-	-
Порівняння зображень	-	+	+	+	+	+	+	-	-
Класифікатори нейронні мережі SVM	- +/-	+ -	- -	- -	- +/-	- -	- +	- +/-	- -

Проведений аналіз показав, що сучасні САМ мають у своєму складі основні алгоритми опрацювання зображень. Проте у них відсутній адаптивний інтерфейс і можливість проведення діагностування на основі експертних знань.

Метою статті є розробка інтелектуальної САМ для діагностування передракових станів молочної залози зі спеціалізованими програмними модулями для різних типів користувачів для полегшення роботи медичного персоналу.

Структура та базові модулі розробленої інтелектуальної САМ

Ключовою відмінністю розробленої системи автоматизованої мікроскопії від існуючих аналогів є наявність адаптивного графічного інтерфейсу для різних типів користувачів та, відповідно, розподіл прав доступу до системи.

Розглянемо базові модулі системи.

База даних.

Основними групами користувачів системи є лікуючий лікар, лікар-діагност, експерт, лаборант та адміністратор. Комунікація між ними відбувається за допомогою віддаленої БД та віддаленого FTP-сервера. На даний момент у медицині науковці значну увагу приділяють проектуванню БД для інформаційних систем, що полегшують роботу лікарів. Здебільшого, структура таких реляційних БД дозволяє зручно формувати звіти та статистичні дані про пацієнтів і їхні діагнози. Більшість існуючих систем автоматизованої мікроскопії для аналізу зображень не мають у своєму складі БД або має обмежений функціонал.

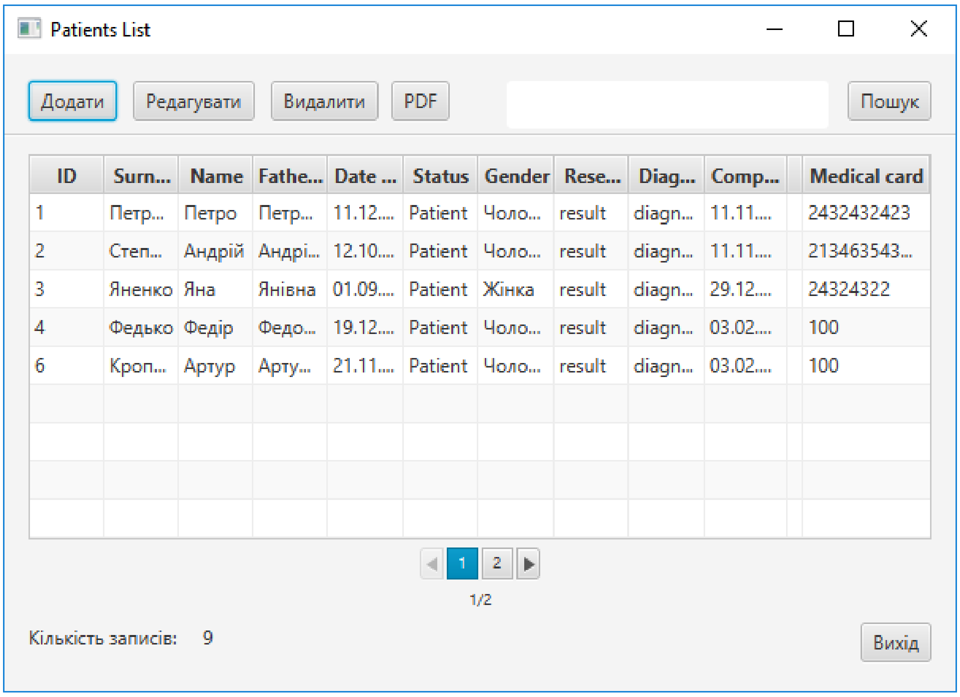
У БД зберігається інформація про користувачів системи, досліди пацієнтів, кількісні та якісні характеристики зображень, висновки експерта та ін. Налаштування реплікації «master-master» чи «master-slave» дозволяє значно підвищити надійність роботи з БД та забезпечити безперебійне функціонування системи. Даталогічну модель БД наведено у роботі [9].

У процесі роботи із пацієнтами важливим елементом системи є логування дій користувачів, для контролю. Уся інформація про дії лікарів (додавання інформації про пацієнтів), яка доступна для перегляду адміністратору системи, знаходиться у БД. FTP-сервер відіграє роль сховища гістологічних і цитологічних зображень. Даний підхід дозволяє реалізувати зручний механізм обміну зображеннями без додаткових зусиль та не вимагає наявності знань лікарів у сфері інформаційних технологій. Для збереження конфіденційності даних пацієнтів уся інформація шифрується, тому зловмисник не зможе ідентифікувати належність зображення з певним діагнозом до конкретного пацієнта. Зображення знаходяться у директоріях із зашифрованими назвами ідентифікатора пацієнта та ідентифікатора дослідження. Налаштуванням серверів і доступу до них займається адміністратор.

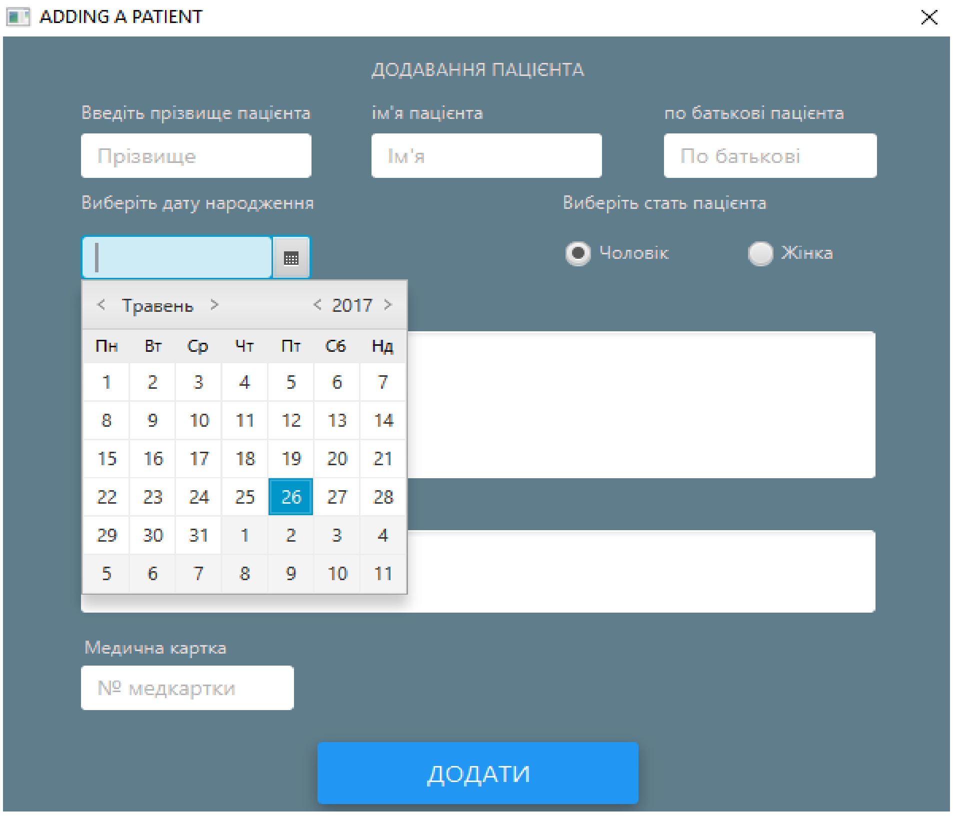
Облік пацієнтів.

Модуль обліку пацієнтів призначений для додавання, редагування, видалення та перегляду інформації. При подвійному «кліку» по запису пацієнта з'являється нове вікно з історією хвороби пацієнта. Лікуючий лікар та лікар-діагност мають можливість додавати інформацію про результати досліджень. Дана інформація зберігається у БД та дозволяє визначити, ким і коли був поставлений діагноз. Приклад вікна для перегляду інформації про пацієнтів наведено на рис. 1.

Для зручності розроблено механізми сортування пацієнтів за алфавітом у порядку зростання чи спадання та інтерактивний пошук за всіма доступними полями. Наприклад, можна здійснювати пошук за ПІБ пацієнта, статтю, діагнозом, датою народження тощо.



а) Графічний інтерфейс вікна обліку пацієнтів



б) Графічний інтерфейс вікна додавання пацієнтів

Рис. 1. Модуль «Пацієнти»

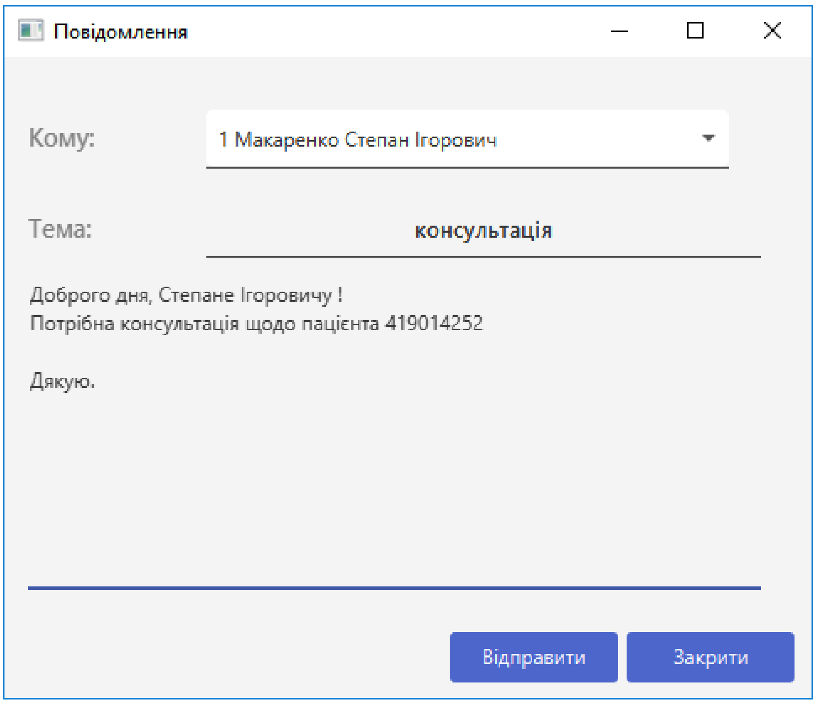
Обмін повідомленнями.

Даний модуль потрібний для здійснення комунікації між лікарями. Наприклад, лікуючий лікар може уточнити у експерта діагноз певного пацієнта. Відправник

повідомлення заповнює три основні поля у вікні: отримувач (вибирається із БД системи), тема повідомлення, текст повідомлення. Модуль «Направлення» має подібний набір атрибутів, та має додатковий «ідентифікатор пацієнта». Графічний інтерфейс головного вікна розробленої інтелектуальної САМ із вбудованим модулем обміну повідомленнями наведено на рис. 2.



а) перегляд повідомлень на боковому меню



б) написання повідомлення

Рис. 2. Графічний інтерфейс головного вікна розробленої інтелектуальної САМ із вбудованим модулем обміну повідомленнями

Опрацювання зображень.

Модуль опрацювання зображень є одним із ключових у розробленій інтелектуальній САМ. Після вибору пацієнта (за його ідентифікатором для забезпечення конфіденційності) користувач має можливість вибору вже створеного досліду для додаткового опрацювання чи створення нового досліду. Після вибору директорії із зображеннями список файлів відображається через графічний інтерфейс та автоматично завантажується на віддалений FTP-сервер з прив'язкою до ідентифікатора користувача та досліду в системі.

Кількісні та якісні характеристики.

Опрацювання цитологічних та гістологічних зображень характеризується високою складністю та вимагає глибоких знань у даній сфері користувачів САМ. Одним із можливих варіантів автоматизації процесу класифікації біомедичних зображень є аналіз кількісних характеристик ядер клітин та якісних характеристик усього зображення.

Файл із кількісними ознаками може бути експортований із САМ для подальшої класифікації алгоритмами машинного навчання. Узагальнену структуру розробленої САМ представлено на рис. 3.

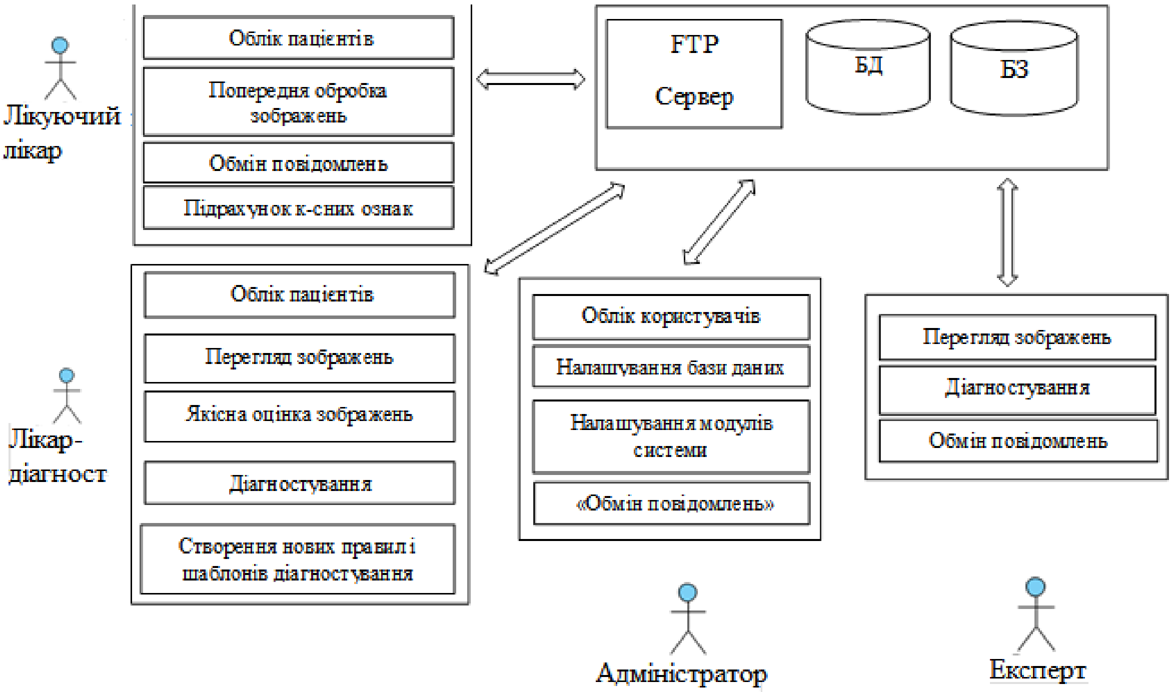


Рис. 3. Узагальнена структура розробленої САМ

Опис програмної системи

Враховуючи вимоги до розробленої інтелектуальної САМ, проектування та розробка програмної системи відіграє важливе значення. Адже зі збільшенням функціональності системи зростає і її складність.

Будь-яка архітектура програмної системи повинна зробити процес розробки і супроводу більш простим та ефективним. Програму із хорошою архітектурою легше розширювати, змінювати, тестувати, відлагоджувати та розуміти. За основу для

проектування архітектури розробленої САМ взято шаблон проектування MVC. Даний шаблон передбачає поділ систем на три частини: модель даних, вид (інтерфейс користувача) і модуль керування. Діаграму пакетів наведено на рис. 4.

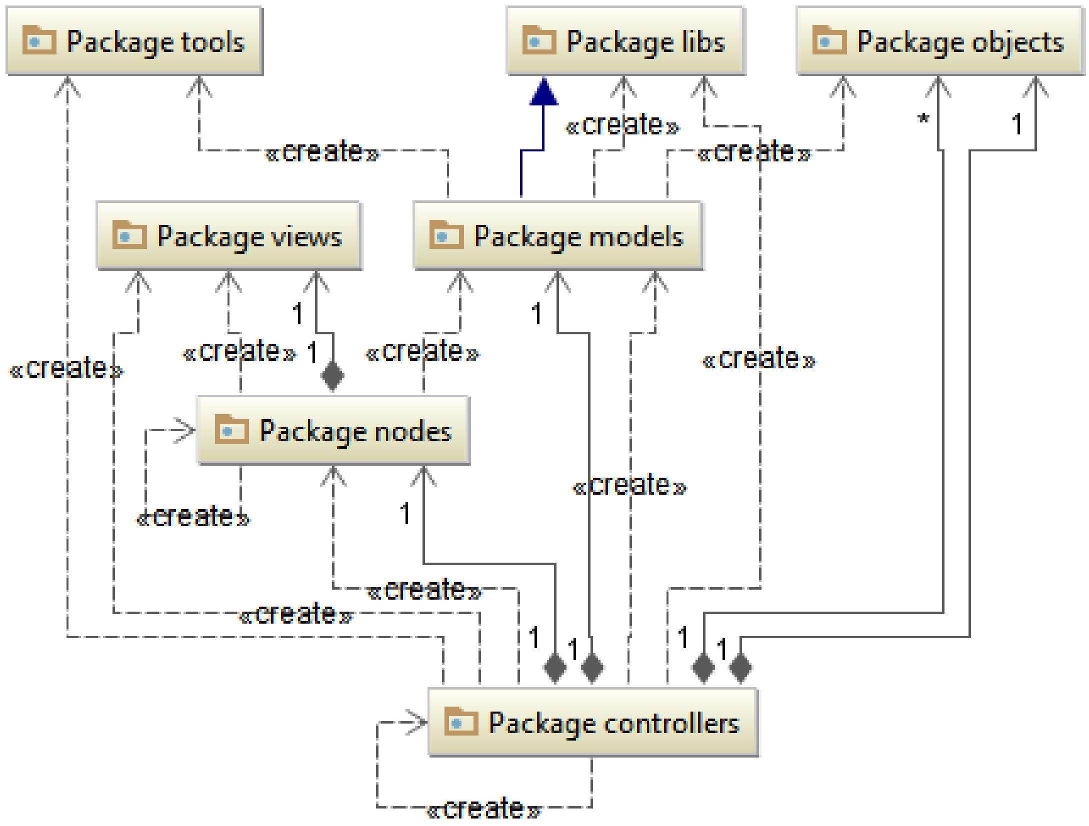


Рис. 4. Діаграма пакетів проекту

Пакет «Controllers» є ключовим у системі, який керує компонентами, отримує сигнали у вигляді реакції на дії користувача (натискання кнопки, ввід даних у текстове поле, вибір елемента зі списку) і передає дані у модель.

Порівняльний аналіз розробленої інтелектуальної САМ з аналогами

Порівняльну характеристику існуючих та розробленої САМ наведено у таблиці 4 («-» – елемент відсутній, «-/+» – елемент частково присутній, «+» – елемент присутній).

У результаті порівняльного аналізу аналогів можна зробити висновок, що розроблена САМ задовольняє усім вимогам до програмного забезпечення та може успішно використовуватись у сучасних телемедичних системах.

Висновки

У статті здійснено аналіз відомих САМ, що дозволило на основі розроблених критеріїв виділити їх переваги та недоліки. Розроблено інтелектуальну САМ, яка, на відміну від існуючих САМ, наділена адаптивним графічним інтерфейсом для різних груп користувачів, алгоритмами автоматичної попередньої обробки та сегментації зображень, наявністю модулів для роботи з віддаленою БД і комунікацією між користувачами та дає змогу обґрунтувати постановку діагнозу за кількісними характеристиками мікрооб'єктів та максимально автоматизовувати процес постановки діагнозу.

Таблиця 4. Порівняльний аналіз САМ

Критерій	ImageJ	ImagePro Plus	ДиаМорф	AxioVision	BioImage XD	QCapture PRO	Micro Manager	Amira	AMS - Diagnosis	Розроблена САМ
Наявність рівнів доступу користувачів	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Наявність БД	-	-	+	+	+/-	-	-	+/-	+	+
Наявність БЗ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+/-
Адаптивний графічний інтерфейс	-	-	-	-	-	-	-	-/+	-	+
Модуль обміну повідомленнями між користувачами	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Модуль опису кількісних ознак	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Модуль опису якісних ознак	-	-	-	-	-	-	-	-	-/+	+
Класифікатори: нейронні мережі SVM K – nearest neighbors	 - - +	 - - +	 - - -	 - - -	 - - +	 - - -	 - - -	 - + -	 - - -	 + + +
Логування дій користувачів	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Захист інформації: Авторизація користувачів Додаткова автентифікація Захист від SQL-ін’єкцій Забезпечення конфіденційності інформації пацієнтів	 - - - -	 - - - -	 - - + -	 - - - -	 + - + -	 - - - -	 - - - -	 + - - -	 + + + -	 + + + +
Пошук елемента за шаблоном	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+
Облік пацієнтів	-	-	-	-	-/+	-	-	+	-/+	+

Література

1. Березький О.М. Segmentation algorithms of biomedical images: development and quantitative evaluation / О.М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М. Мельник, С.О. Вербовий // Штучний інтелект, Київ, 2016. - №3 (73). - С. 104-116.
2. Berezsky O. Access distribution in automated microscopy system / O. Berezsky, L. Dubchak, O. Pitsun //14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2017, Polyana, Ukraine, pp. 241-243.
3. Kankaanpää P. Paavolainen BioImageXD: an open, general-purpose and high-throughput image-processing platform / Tiitta S., Karjalainen M., Päivärinne J., Nieminen J. // Nature methods. – 2012. - № 9(7). – p. 155-71.
4. Малов А.М. Компьютерная обработка биомедицинских многоканальных изображений с использованием визуализации меры сходства с эталоном / А.М. Малов // Известия вузов. Приборостроение. – 2009. - № 52(8). – С. 74-79.
5. Yokoyama Yu. Loss of histone H4K20 trimethylation predicts poor prognosis in breast cancer and is associated with invasive activity / Yu. Yokoyama, A. Matsumoto, M. Hieda, Y. Shinchi, E. Ogihara, M. Hamada, Yu. Nishioka, H. Kimura, K. Yoshidome, M. Tsujimoto, N. Matsuura // Breast Cancer Research. – 2014. - №16 (3). – p. 66.
6. Using OncoDoc as a computer-based eligibility screening system to improve accrual onto breast cancer clinical trials B. Séroussi, J. Bouaud. Artificial Intelligence in Medicine, 2003, Vol. 29, Issues 1-2, p. 153–167.
7. Dercksen V. The Filament Editor: An Interactive Software Environment for Visualization, Proof-Editing and Analysis of 3D Neuron Morphology / V. Dercksen // Neuroinformatics. – 2014. - № 12(2). - p. 325-339.
8. Vrekoussis T. Image Analysis of Breast Cancer Immunohistochemistry-stained Sections Using ImageJ: An RGB-based Model / t. Vrekoussis, v. Chaniotis, i. Navrozoglou, v. Dousias, k. Pavlakis, e.n. Stathopoulos, o. Zoras // Anticancer Research December – 2009. - № 29(12). – p. 4995-4998.
9. Березький О.М. Розроблення реляційної бази даних інтелектуальної системи автоматизованої мікроскопії / О.М. Березький, О.Й. Піцун, О.С. Вербовий та ін. // Науковий вісник НЛТУ України : збірник науково-технічних праць. Львів: РВВ НЛТУ України. 2017. №. 27(5). 125-129 с.

Literatura

1. Berez'kyy O.M. Segmentation algorithms of biomedical images: development and quantitative evaluation / O.M. Berez'kyy, Yu.M. Bat'ko , H.M. Mel'nyk, S.O. Verbovyy // Shtuchnyy intelekt, Kyyiv, 2016. - #3 (73). - S. 104-116.
2. Berezsky O. Access distribution in automated microscopy system / O. Berezsky, L. Dubchak, O. Pitsun //14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM 2017, Polyana, Ukraine, pp. 241-243.
3. Kankaanpää P. Paavolainen BioImageXD: an open, general-purpose and high-throughput image-processing platform / Tiitta S., Karjalainen M., Päivärinne J., Nieminen J. // Nature methods. – 2012. - № 9(7). – p. 155-71.
4. Malov A.M. Kompiuternaia obrabotka byomedytsynskykh mnohokanalnykh izobrazhenyi s ispolzovanyem vyzualyzatsyy mery skhodstva s etalonom / A.M. Malov // Izvestyia vuzov. Pryborostroenye. . – 2009. - № 52(8) . – P. 74-79.
5. Yokoyama Yu. Loss of histone H4K20 trimethylation predicts poor prognosis in breast cancer and is associated with invasive activity / Yu. Yokoyama, A. Matsumoto, M. Hieda, Y. Shinchi, E. Ogihara, M. Hamada, Yu. Nishioka, H. Kimura, K. Yoshidome, M. Tsujimoto, N. Matsuura // Breast Cancer Research. – 2014. - №16 (3). – p. 66.
6. Using OncoDoc as a computer-based eligibility screening system to improve accrual onto breast cancer clinical trials B. Séroussi, J. Bouaud. Artificial Intelligence in Medicine, 2003, Vol. 29, Issues 1-2, p. 153–167.
7. Dercksen V. The Filament Editor: An Interactive Software Environment for Visualization, Proof-Editing and Analysis of 3D Neuron Morphology / V. Dercksen // Neuroinformatics. – 2014. - № 12(2). - p. 325-339.
8. Vrekoussis T. Image Analysis of Breast Cancer Immunohistochemistry-stained Sections Using ImageJ: An RGB-based Model / t. Vrekoussis, v. Chaniotis, i. Navrozoglou, v. Dousias, k. Pavlakis, e.n. Stathopoulos, o. Zoras // Anticancer Research December – 2009. - № 29(12). – p. 4995-4998.
9. Berez'kyy O.M. Rozroblennya relyatsiynoyi bazy danykh intelektual'noyi systemy avtomatyzovanoyi mikroskopiyi / O.M. Berez'kyy, O.Y. Pitsun, O.S. Verbovyy ta in. // Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny : zbirnyk naukovo-tekhnichnykh prats'. L'viv : RVV NLTU Ukrayiny. 2017. #. 27(5). 125-129 s.

RESUME

O.M. Berezsky, O.Y. Pitsun, P.B. Lyashchynsky, P.B. Lyashchynsky, G.M. Melnyk

Intelligent automated microscopy system of histological and cytological images analysis

The article analyzes existing systems of automated microscopy for the histological and cytological images analysis. For comparison, the following systems were selected: BioImageXD, AxioVision, ImageJ, Imageder-TZG, MEKOS-TZG. Existing systems have a standard set of methods and algorithms for low, medium and high levels of computer vision, requiring specialized knowledge of physicians in the field of computer vision and artificial intelligence. The authors proposed the implementation of the developed intelligent system of automated microscopy with the following functionalities: availability of adaptive graphical interfaces for different types of users (physician, doctor - diagnostician, expert, administrator), remote database for storing research results (quantitative and qualitative characteristics), knowledge base, adaptive modules for pre-processing and image segmentation, module for communicating between users of the system, patient registration module, statistics collection. For the recognition and classification of histological and cytological images, a program module for neural network twists and a web application based on classifiers: SVM, k-means, k-neighbor has been implemented.

The structure of the software modules is implemented in accordance with the MVC design model (Model - View - Controller) for the distribution of the logic of the work of individual components of the systems.

The main criteria for comparing the systems of automated microscopy are: availability of levels of access to the system, the availability of modules for the processing of quantitative and qualitative characteristics, the availability of adaptive graphical interfaces, storage of information about user actions, messaging, patient records, tools for automatic image categorization, search objects for a template.

As a result of the comparative analysis of the systems of automated microscopy, we can conclude that the developed automated microscopy system has modules that can improve the convenience of various types of physicians, establish communication between them and can be successfully applied in modern telemedicine systems.

Надійшла до редакції 04.10.2017